



Espacenet

**Bibliographic data: DE69813787 (T2) — 2003-10-23**

---

**METHOD AND DEVICE FOR ACTIVATING SEMICONDUCTOR IMPURITIES**

**Inventor(s):** YOSHIDA AKIHISA [JP]; KITAGAWA MASATOSHI [JP];  
UCHIDA MASAO [JP]; KITABATAKE MAKOTO [JP]; MITSUYU  
TSUNEO [JP] ±

**Applicant(s):** MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD [JP] ±

**Classification:** - **international:** H01L21/04; H01L29/861; H01L29/24;  
(IPC1-7): H01L21/04; H01L21/265;  
H01L21/268  
- **European:** H01L21/04H20C; H01L21/04H4A;  
H01L29/861

**Application number:** DE19986013787T 19981130

**Priority number (s):** JP19970327771 19971128; WO1998JP05383 19981130

**Also published as:** EP0971397 (A1) EP0971397 (A4) EP0971397 (B1)  
US6255201 (B1) WO9928960 (A1) more

**Abstract not available for DE69813787 (T2)**

**Abstract of corresponding document: EP0971397 (A1)**

An impurity doped SiC substrate 1 and SiC thin film 2 are irradiated with a laser light 5 having a wavelength longer than such a wavelength that a band edge absorption of a semiconductor is caused. The wavelength of the laser light 5 may be such a wavelength that an absorption is caused by a vibration by the bond of an impurity element and an element constituting the semiconductor, for example, a wavelength of 9  $\mu\text{m}$  to 11  $\mu\text{m}$ . Specifically, in the case where Al is doped in SiC, the wavelength of the laser light 5 may be within the range of 9.5  $\mu\text{m}$  to 10  $\mu\text{m}$ .



18 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Übersetzung der  
europäischen Patentschrift

97 EP 0971 397 B 1

10 DE 698 13 787 T 2

51 Int. Cl.<sup>7</sup>  
H 01 L 21/04  
H 01 L 21/265  
H 01 L 21/268

- |    |   |                |
|----|---|----------------|
| 21 | Deutsches Aktenzeichen:                               | 698 13 787.6   |
| 56 | PCT-Aktenzeichen:                                     | PCT/JP99/05383 |
| 94 | Europäisches Aktenzeichen:                            | 98 955 993.5   |
| 27 | PCT-Veröffentlichungs-Nr.:                            | WO 99/028960   |
| 16 | PCT-Anmeldetag:                                       | 30. 11. 1998   |
| 17 | Veröffentlichungstag<br>der PCT-Anmeldung:            | 10. 6. 1999    |
| 37 | Erstveröffentlichung durch das EPA:                   | 12. 1. 2000    |
| 37 | Veröffentlichungstag<br>der Patenterteilung beim EPA: | 23. 4. 2003    |
| 37 | Veröffentlichungstag im Patentblatt:                  | 23. 10. 2003   |

DE 698 13 787 T 2

- 20 Unionspriorität:  
32777197 28. 11. 1997 JP
- 19 Patentinhaber:  
Matsushita Electric Industrial Co., Ltd., Kadoma,  
Osaka, JP
- 14 Vertreter:  
RA u. PA Volkmar Tetzner; PA Michael Tetzner; RA  
Thomas Tetzner, 81479 München
- 14 Benannte Vertragsstaaten:  
DE, FR, GB, SE

- 22 Erfinder:  
YOSHIDA, Akihisa, Kyoto-shi, Kyoto 612-8469, JP;  
KITAGAWA, Masatoshi, Hirakata-shi, Osaka  
573-0073, JP; UCHIDA, Masao, Ibaraki-shi, Osaka  
567-0831, JP; KITABATAKE, Makoto, Nara-shi, Nara  
631-0076, JP; MITSUYU, Tsuneo, Hirakata-shi,  
Osaka 573-1148, JP

50 VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM AKTIVIEREN VON VERUNREINIGUNGEN IN EINEM HALBLEITER

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 698 13 787 T 2

12.12.02

698 13 7877

43/03

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und ein Gerät zur Aktivierung einer Halbleiterstörstelle, die z. B. in Siliziumcarbid (SiC) und dergleichen implantiert wurde, sowie ein Verfahren und ein Gerät, die bei der Herstellung von Halbleiterbauelementen erforderlich sind.

Bei der Herstellung von Halbleiterbauelementen, die Silizium verwenden, welches momentan das am weitesten verbreitete Halbleitermaterial ist, wird allgemein, nach dem Hinzufügen einer Störstelle in Si durch eine Ionenimplantation und dergleichen Verfahren, das Si unter Verwendung eines elektrischen Brennofens, einem Blitzlampenbrenner und dergleichen auf 900 °C bis 1100 °C geheizt, um die Störstellen im Si zu aktivieren.

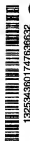
In den vergangenen Jahren hat ein Halbleiterbauelement, das Siliziumcarbid (SiC) verwendet, in der Industrie beträchtliche Aufmerksamkeit auf sich gezogen, da solch ein Bauteil ausgezeichnet ist bei der elektrischen Leistungskennlinie (hohe Durchschlagsspannung und hohe Strombelastbarkeit), der Hochfrequenzkennlinie und der Beständigkeit in einer Betriebsumgebung. Die Ionenimplantation und Aktivierung von SiC bringt jedoch viele Schwierigkeiten mit im Vergleich zu der von Si mit sich. Um solche Schwierigkeiten zu überwinden, sind verschiedene Techniken der Störstellenaktivierung vorgeschlagen worden. Ein Beispiel einer solchen Technik ist, dass ein Fremdatom bei der Bildung des SiC-Films hinzugefügt wird, eine Ionenimplantation unter einer hohen Temperatur von etwa 500 °C bis 1000 °C durchgeführt wird und danach, wie bei T. Kimoto, et al., Journal of Electronic Materials, Band 25, Nr. 5, (1996), S. 879 bis 884, beschrieben, eine Störstelle durch eine Wärmebehandlung bei einer hohen Temperatur von 1400 °C bis 1600 °C aktiviert wird.

Solche Verfahren zur Störstellenaktivierung durch Wärmebehandlung erfordern jedoch einen Schritt zum Aufheizen des Si oder dergleichen Halbleitermaterials unter Verwendung eines elektrischen Brennofens und dergleichen. Es ist folglich eine lange Zeit für die Aktivierung nötig und das macht es schwierig, die Produktivität zu

steigern. Solche Nachteile werden im Fall der Verwendung von SiC deutlicher, da eine weitere höhere Temperatur bei der Wärmebehandlung erforderlich ist. Im Fall von SiC ist es außerdem schwierig, hinsichtlich eines p-Typ-Dotiermittels, eine Halbleiterschicht zu bilden, bei der das p-Typ-Dotiermittelelement zu einem hohen Grad aktiviert ist.

In Hinblick auf solche Nachteile offenbart z. B. die ungeprüfte japanische Patentschrift Nr. 7-022311 solch ein Verfahren zur Störstellenaktivierung, wie sie im folgenden beschrieben wird. Dementsprechend wird ein Lasereinbrennen durch Bestrahlung eines amorphen Si-Films, in dem die Konzentrationen von Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff unter bestimmte Werte gebracht wurden, mit einem Laserlicht durchgeführt, um einen Mischbereich zu bilden, in dem ein amorpher Bereich und ein geordneter Festphasenbereich nebeneinander anwesend sind, ohne den amorphen Si-Film zu schmelzen. Dann werden Fremdatomionen in den amorphen Si-Film implantiert und danach wird das Lasereinbrennen durch Bestrahlung des Si-Films mit einem Laserlicht durchgeführt, das eine Wellenlänge von 248 nm besitzt, um einen Störstellenbereich in den semiamorphen Zustand überzuführen. Obwohl in der Publikation Nr. 7-022311 offenbart ist, dass die Trägerbeweglichkeit durch das Verfahren verglichen mit amorphem Si verbessert werden kann, ist jedoch ein Lasereinbrennen bei anderen Halbleitern als dem amorphen Si nicht erwähnt.

Ein herkömmlich zum Lasereinbrennen für solch eine Kristallisation (Aktivierung) eines Halbleiters verwendetes Laserlicht ist ein Laserlicht gewesen, das eine kürzere Wellenlänge besitzt, als die eine Bandkantenabsorption verursachende Wellenlänge, wie ein Excimerlaser, wie er genauer bei Y. Morita, et al., Jpn. J. Appl. Phys., Band 28, Nr. 2, (1989) S. L309 bis L311 beschrieben ist. In dem Fall, dass ein Laserlicht mit einer solchen Wellenlänge verwendet wird, werden Elektronen in den den Halbleiter aufbauenden Atomen durch die Energie des Laserlichts angeregt und ionisiert und ein Teil der Energie der Elektronen wird in eine Gitterschwingung der



132534380174763632

12 12 05

Atome umgewandelt, die vorübergehend den Halbleiter auf eine hohe Temperatur heizen und damit die Kristallisation (Aktivierung) des Halbleiters fördern.

Bei solch einer Störstellenaktivierung durch ein Lasereinbrennen nach dem Stand der Technik, wie es oben beschrieben ist, ist ein Lasergerät mit einer relativ großen Ausgangsleistung erforderlich, da die Effizienz der Energieausnutzung gering ist, und deshalb neigen die Herstellungskosten zu steigen. Hinsichtlich eines solchen Verfahrens ist es desweiteren nicht einfach, die Aktivierung der Störstellen mit großer Zuverlässigkeit durchzuführen und Halbleiterbauteile mit gewünschten Kennlinien herzustellen. Insbesondere gestaltet sich die Herstellung von Halbleiterbauteilen mit wünschenswerter Kennlinie bei der Aktivierung von p-Typstörstellen im Fall von SiC schwer.

Im Hinblick auf vorgenannte Nachteile des Stands der Technik ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Aktivierung von Halbleiterstörstellen bereitzustellen, bei dem die Aktivierung der Störstellen mit hoher Effizienz und Zuverlässigkeit ausgeführt werden kann, auch wenn ein Lasergerät mit einer relativ kleinen Ausgangsleistung verwendet wird.

Diese und andere Aufgaben werden in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung erfüllt, und zwar durch Bereitstellung eines Verfahrens zur Aktivierung von Halbleiterstörstellen in einem Halbleiter, der aus einem Haupthalbleiterelement und Störstellenelement besteht, durch Bestrahlung mit Licht, wobei das Licht eine längere Wellenlänge besitzt, als eine Bandkantenabsorption des Halbleiters verursachende Wellenlänge. Das Licht weist eine solche Wellenlänge auf, dass eine Resonanzabsorption durch die charakteristische Schwingung einer Bindung des das Haupthalbleiterelement aufbauenden Elements mit dem Störstellenelement verursacht wird.

Im Fall der Aktivierungsverfahren nach dem Stand der Technik, die ein Licht verwenden, das eine Wellenlänge besitzt, die kürzer ist, als eine



132534960174768632

Bandkantenabsorption des Halbleiters verursachende Wellenlänge, werden Elektronen in den den Halbleiter aufbauenden Atomen angeregt und durch die Energie des Lichts ionisiert und ein Teil der Energie der Elektronen wird in die Energie für die Gitterschwingung der Atome umgewandelt. Der Halbleiter wird dadurch vorübergehend auf eine hohe Temperatur geheizt und dadurch wird die Störstelle aktiviert. Andererseits haben die Erfinder herausgefunden, dass durch Bestrahlung eines Halbleiters mit einem Laserlicht, das eine Wellenlänge besitzt, die länger ist, als eine Bandkantenabsorption des Halbleiters verursachende Wellenlänge, eine Gitterschwingung zwischen dem Störstellenelement und dem Halbleiterelement direkt verursacht werden kann und dadurch die Störstelle aktiviert werden kann. Deshalb wurden solche vorteilhaften Wirkungen erfindungsgemäß dadurch erzielt, dass die Effizienz der Aktivierung so gesteigert wurde, dass ein Laser mit einer kleinen Ausgangsleistung angewandt werden kann und dass eine gewünschte Störstellenaktivierung leicht ausgeführt werden kann. Um genauer zu sein, da das Haupthalbleiterelement Siliziumcarbid ist und das Störstellenelement eines der Elemente Aluminium, Bor und Gallium ist, kann ein Licht, das eine Wellenlänge von 9  $\mu\text{m}$  bis 11  $\mu\text{m}$  besitzt, die länger ist, als die Bandkantenabsorption verursachende Wellenlänge (im Fall von 6H-SiC, ungefähr 3 eV: bis zu 0.41  $\mu\text{m}$ ), angewandt werden, um leicht einen p-Typ-Siliziumcarbidhalbleiter mit gewünschter Kennlinie herzustellen. Im Besonderen wird im Fall von Aluminium besser eine Wellenlänge von von 9.5  $\mu\text{m}$  bis 10  $\mu\text{m}$  angewandt.

Entsprechend eines anderen Gesichtspunkts der Erfindung kann beim Bestrahlen eines Halbleiters mit dem Laserlicht, das eine solche Wellenlänge besitzt, wie oben beschrieben wurde, das Laserlicht auf einen auf der Oberfläche des Halbleiters liegenden Brennpunkt fokussiert werden und der Brennpunkt des Laserlichts kann so geschaffen sein, dass er ein Punkt zwischen einer Lichtquelle des Laserlichts und der Oberfläche des Halbleiters ist, der einen bestimmten Abstand von der Oberfläche des Halbleiters aufweist. Um genauer zu sein, beim Bestrahlen des Halbleiters mit einem Laserlicht, das eine solche Wellenlänge besitzt, wie oben beschrieben wurde, kann

die Laserbestrahlung dadurch ausgeführt werden, dass ein künstliches Echo detektiert wird, das in dem Fall verursacht wird, wenn der Brennpunkt des Laserlichts aus Richtung der Lichtquelle des Laserlichts an eine an der Oberfläche des Halbleiters liegende Stelle gebracht wurde, und der Brennpunkt des Laserlichts zu einer solchen Position gesteuert wird, dass das künstliche Echo beginnt detektiert zu werden.

Durch Einstellen und Steuern des Brennpunkts wie es oben beschrieben wurde, wird der Grad der Aktivierung weiter auf einfache Weise verbessert.

Fig. 1 ist ein Diagramm, das die Schritte der Herstellung eines Halbleitersubstrats entsprechend eines Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung zeigt.

Fig. 2 ist ein Graph, der die Konzentration von Störstellen in einem mit Fremdatomen dotierten Halbleitersubstrat entsprechend eines Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung zeigt.

Fig. 3 ist ein Diagramm, das schematisch einen Aufbau eines Lasereinbrennsystems zeigt.

Fig. 4 ist ein Graph, der die Abhängigkeit eines Photoluminiszenzspektrums eines SiC-Films in einem Halbleitersubstrat entsprechend eines Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung vom Brennpunkt zeigt.

Fig. 5 ist ein Graph, der die Abhängigkeit eines Photoluminiszenzspektrums eines SiC-Films in einem Halbleitersubstrat entsprechend eines Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung von der Laserlichtwellenlänge zeigt.

Fig. 6 ist ein Diagramm, das die Schritte der Herstellung einer SiC-Diode entsprechend einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung zeigt.



125343601747636932

Fig. 7 ist ein Graph, der die elektrische Kennlinien einer SiC-Diode entsprechend einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung zeigt.

Nun wird mit Bezugnahme auf die Figuren ein Beispiel beschreiben, bei dem Aluminiumionen (Al) aktiviert werden, die in Siliziumkarbid (SiC) als Störstellen implantiert wurden.

Zuerst wird unten unter Bezugnahme auf Fig. 1 ein Abriss über die Herstellung eines Halbleitersubstrats, einschließlich den Schritt des Lasereinbrennens, genau geschildert.

(1) Wie in Fig. 1 (a) und (b) gezeigt ist, ist ein dünner SiC-Film 2, der aus kristallinem 6H-SiC (hexagonales Siliziumkarbid) besteht, epitaktisch auf einer Oberfläche eines SiC-Substrats 1, das aus einem 6H-SiC-Einkristall besteht, unter Verwendung eines Sublimationsverfahrens gewachsen. Die Einzelheiten bezüglich Verfahren und Bedingungen zur Bildung des SiC-Films 2 sind hier nicht enthalten, da bekannte Verfahren und Bedingungen dafür angewendet werden können. Das SiC-Substrat 1 und der SiC-Film 2 sind so ausgebildet, dass sie durch Dotierung mit Stickstoff (N) mit einer Konzentration von  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$  durch Zugabe von Stickstoffgas ( $\text{N}_2$ ) beim Aufwachsen der Kristalle n-leitend werden. Es wird darauf hingewiesen, dass das SiC-Substrat 1 und der SiC-Film 2 nicht auf solche beschränkt sind, die aus 6H-SiC aufgebaut sind, und andere Kristallstrukturen ebenso eingesetzt werden können. Zusätzlich kann nicht nur das vorgenannte Sublimationsverfahren, sondern auch andere Verfahren, wie ein CVD-Verfahren und dergleichen beim Aufwachsen eines Einkristalls zur Bildung des der SiC-Films 2 eingesetzt werden. Das Dotieren mit N kann abhängig vom unter Verwendung des erfindungsgemäß gebildeten Halbleiters herzustellenden Halbleiterbauteil weggelassen werden.

(2) Wie in Fig. 1 (c) gezeigt ist, werden Al-Ionen 3 in den dünnen SiC-Film 2 durch Ionenimplantation implantiert, um eine p-leitende störstellenversetzte Schicht (dotierte Schicht) 4 in der Nähe der Oberfläche des dünnen SiC-Films 2 zu bilden.



Die Ionenimplantation wird, um genauer zu sein, bei einer Temperatur von 800 °C mit den folgenden drei Stufen ausgeführt:

- (a) einer Beschleunigungsenergie von 130 keV und einer Dosis von  $1.22 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ ,
- (b) einer Beschleunigungsenergie von 80 keV und einer Dosis von  $3.9 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ ,
- (c) einer Beschleunigungsenergie von 40 keV und einer Dosis von  $3.9 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ ,

um so die stöstellenversetzte Schicht 4 zu bilden, bei der ein Bereich mit einer Al-Konzentration von  $10^{20} \text{ cm}^{-3}$  bis zu einer Tiefe von ungefähr 200 nm von der Oberfläche des dünnen SiC-Films hinab verteilt ist, wie es in Fig. 2 gezeigt ist.

Als ein Fremdatom zur Bildung der p-leitenden stöstellenversetzten Schicht 4 können Bor (B), Gallium (Ga) und dergleichen anstelle von Al verwendet werden. In Hinsicht auf die Dotierung eines dünnen SiC-Films wird jedoch im Fall der p-Leitung mit einem kleinen Stöstellenniveau bevorzugt Al verwendet. Zudem ist es auch möglich, eine n-leitende stöstellenversetzte Schicht 4 durch den Gebrauch von Phosphor (P) und dergleichen zu bilden. In diesem Fall können Al und dergleichen beim Wachsen der Kristalle des SiC-Substrats 1 und des dünnen SiC-Films 2 anstelle der Zugabe von N, wie es oben beschrieben ist, hinzugefügt werden. Zudem können, hinsichtlich solcher Bedingungen der Ionenimplantation, wie der Temperatur der Implantation, der Beschleunigungsenergie und der Konzentration bei der Implantation und der Auswahl, welche Stufe oder Stufen für die Implantation verwendet wird, solche Bedingungen abhängig von den Aufbauten, der Dicke der dotierten Schicht und dergleichen der unter Verwendung des erfindungsgemäß gebildeten Halbleiters herzustellenden Halbleiterbauteile bestimmt werden. Eine Temperatur bei der Implantation kann Zimmertemperatur sein, aber es wird bevorzugt, bei 500 °C oder höher zu sein, da die Stöstellen dadurch in dem anschließenden Schritt des Lasereinbrennens einfacher aktiviert werden. Natürlich

können verschiedene andere bekannte Verfahren der Ionenimplantation angewandt werden.

(3) Wie in Fig. 1 (d) gezeigt ist, wird die störstellenversetzte Schicht 4 mit einem Laserlicht 5 bestrahlt, das eine Wellenlänge im infraroten Strahlungsbereich besitzt, wobei sie horizontal und vertikal mit einer bestimmten Abtastfrequenz abgetastet werden, um so eine aktivierte dotierte Schicht 6 zu bilden, bei der die zugefügten Störstellen im ganzen Bereich gleichmäßig aktiviert sind. Die genaue Beschreibung entsprechend diese Aktivierung ist im Folgenden enthalten.

Nun führt die Beschreibung ein Lasereinbrennsystem genauer aus.

Wie schematisch in Fig. 3 gezeigt ist, umfasst des Lasereinbrennsystem eine Kammer 21 und einen Freie-Elektronen-Laser 22. In der Kammer 21 ist ein SiC-Substrat 1, in dem ein dünner SiC-Film 2 ausgebildet und Al implantiert ist (Dieses Substrat wird nachfolgend einfach als „SiC-Substrat 1“ bezeichnet), angeordnet und die Wellenlänge der Laserschwingung des Freie-Elektronen-Lasers 22 ist variabel einstellbar. In der Kammer 21 sind ein optisches Fenster 7, ein Reflexionsspiegel 8, eine Linse 9 zum Fokussierung und Einstellen des Laserlichts, ein Galvanometerspiegel 10 zum Reflektieren des Laserlichts und zum Abtasten und einen Probentisch 11 zur Anordnung des SiC-Substrats 1 bereitgestellt. Das optische Fenster 7, der Reflexionsspiegel 8 und die Linse 9 sind z. B. aus ZnSe gefertigt. Der Probentisch 11 hat einen solchen Aufbau, dass das SiC-Substrat 1 in vertikaler Richtung und horizontaler Richtung in Fig. 3 mittels eines Probentischbewegungsmechanismus 16, der mit einem piezoelektrischen Antrieb oder einem Stufenmotor oder dergleichen (ist nicht gezeigt) ausgestattet ist. In der Nähe des Probentisches 11 ist ein Lichtdetektor 15 zum Detektieren einer funkenartigen Lichtemission (künstliches Echo) 14, die von der Oberfläche des SiC-Substrats durch eine Bestrahlung mit Laserlicht erzeugt wird, bereitgestellt und entsprechend dem Ergebnis der Detektion wird die Bewegung des

12.12.02

Probentischbewegungsmechanismus 16 gesteuert, um den Probentisch 11 in die Richtung nach oben oder unten zu bewegen.

5

Nun wird unten eine Lasereinbrennbehandlung unter Verwendung des vorgenannten Lasereinbrennsystems genauer ausgeführt.

Entsprechend dieser Lasereinbrennbehandlung werden die Position des Brennpunkts des Laserlichts 5 und die Wellenlänge des Laserlichts 5 geeignet eingestellt, um die gewünschte Störstellenaktivierung zu erzielen.

10

Zuerst wird die Einstellung des Brennpunkts genau ausgeführt. Die Wellenlänge des Laserlichts 5 wurde auf  $10.2 \mu\text{m}$  eingestellt und der Brennpunkt des Laserlichts 5 wurde an verschiedene Positionen gesetzt, die von  $1.5 \text{ mm}$  nach oben und bis zu  $-2.0 \text{ mm}$  nach unten (die Rückseite des SiC-Substrats 1) in Bezug auf die Oberfläche des SiC-Substrats 1 reichen, um die Störstellenaktivierung auszuführen. Entsprechend eines jeden der sich ergebenden SiC-Substrate 1 wurde, um den Grad der Störstellenaktivierung zu bestätigen, eine Messung des Photoluminiszenzspektrums mit einer unterworfenen Probentemperatur von  $8 \text{ K}$  ( $-265^\circ\text{C}$ ) und unter Verwendung eines He-Cd-Lasers (Wellenlänge:  $325 \text{ nm}$ ) als Anregungslicht ausgeführt. Die Ergebnisse der Messungen sind in Fig. 4 gezeigt. Es wird darauf hingewiesen, dass in Fig. 4 eine in der Nähe von ungefähr  $2.6 \text{ eV}$  (Wellenlänge:  $480 \text{ nm}$ ) beobachtete Lichtemission eine Photolumineszenz durch die Rekombination eines Donor (D) - Akzeptor (A) - Paares (DA-Paar-Lichtemission) ist, das von den aktivierten Störstellenelementen im SiC-Substrat 1 herrühren, und dass je mehr aktivierte Störstellen vorhanden sind, die Intensität der DA-Paar-Lichtemission umso größer wird. Wie aus den Ergebnissen ersichtlich ist, wird die stärkste DA-Paar-Lichtemission beobachtet, wenn sich der Brennpunkt des Laserlichts 5 leicht ( $0.5 \text{ mm}$  bis  $1.0 \text{ mm}$ ) über der Oberfläche des SiC-Substrats 1 befindet (dargestellt durch die graphischen Darstellungen  $\circ$  und  $\Delta$  in Fig. 4) und es bestätigt, dass die Störstellenaktivierung am effektivsten unter solchen Bedingungen ausgeführt wird. Andererseits wird eine kleine Intensität der DA-Paar-Lichtemission abgegeben, wenn

20

25

30



der Brennpunkt in Bezug auf die Oberfläche des SiC-Substrats 1 nach innen versetzt wird (dargestellt durch die graphischen Darstellungen •, ▲, ■ und ▼ in Fig. 4). Wenn sich der Brennpunkt leicht in der Oberfläche des SiC-Substrats 1 befindet (dargestellt durch die graphischen Darstellungen • und ▲ in Fig. 4), wurde die Oberfläche des SiC-Substrats 1 geschwärzt und es wird angenommen, dass die Oberfläche des SiC-Substrats 1 verändert oder beeinträchtigt wurde. Aus dem vorgenannten wird geschlossen, dass eine gewünschte Aktivierung dadurch erzielt werden kann, dass der Brennpunkt des Laserlichts 5 leicht oberhalb der Oberfläche des SiC-Substrats 1 liegt.

Solch eine Steuerung des Brennpunkts kann z. B. entsprechend der folgenden Art und Weise ausgeführt werden. Das heißt, die Stellung des Brennpunkts des sich leicht oberhalb der Oberfläche des SiC-Substrats 1 liegenden Laserlichts 5 entspricht der Stellung, bei der das künstliche Echo 14 beginnt, durch die Bestrahlung mit dem Laserlicht 5 erzeugt zu werden. Durch die Detektion des Auftretens des künstlichen Echos 14 mit dem Lichtdetektor 15 und entsprechendes Ausführen einer Rückkopplungssteuerung, so dass die Stelle des künstlichen Echos, das beginnt, sich zu entwickeln, durch Bewegung des SiC-Substrats 1 mit dem Probenbewegungsmechanismus 16 beibehalten wird, wird die bestrahlte Oberfläche deshalb so gesteuert, dass sie in die günstigste Position gebracht wird, um die gewünschte Aktivierung zu erzielen. Um eine Veränderung oder Beeinträchtigung des SiC-Substrats 1, verursacht durch die Bestrahlung mit dem Laserlicht 5 zu verhindern, wird der Brennpunkt zuerst an eine Position weg von der Oberfläche des SiC-Substrats 1 gesetzt wird und danach in die Nähe des SiC-Substrats 1 gebracht wird.

Es sollte beachtet werden, dass ein Verfahren zur Steuerung des Brennpunkts nicht auf eine Methode, wie sie oben beschrieben wurde, beschränkt ist. Zum Beispiel kann die Steuerung durch Detektion der Position der Oberfläche des SiC-Substrats 1 mittels eines Positionssensors ausgeführt werden. Zudem kann, wenn der Abstand zwischen dem Brennpunkt und der Oberfläche des SiC-Substrats 1 konstant gehalten

werden kann, die Position des Probenstückes 11 vorher bestimmt werden und braucht nicht während des Lasereinschaltens gesteuert werden.

Zudem kann durch Steuerung des Brennpunkts in einer solchen Art und Weise, wie sie oben beschrieben wurde, die Intensität der Laserlichtbestrahlung auf das SiC-Substrat 1 leicht gesteuert werden. Die Intensität der Laserlichtbestrahlung kann jedoch durch Modulation des Laserlichts, basierend auf den Ergebnissen der Detektion des künstlichen Echos und dergleichen, gesteuert werden.

Zweitens wird die Steuerung der Wellenlänge des Laserlichts 5 genauer ausgeführt. Die Wellenlänge des Laserlichts 5 wurde auf verschiedene Wellenlängen gesetzt, die von 10.64  $\mu\text{m}$  bis zu 9.43  $\mu\text{m}$  reichen, um die Störstellenaktivierung auszuführen und ein Photolumineszenzspektrum wurde hinsichtlich eines jeden erhaltenen SiC-Substrats 1 auf die selbe Art und Weise, wie sie im obigen Beispiel, bei dem die Brennpunkte variiert wurden, gemessen. Die Ergebnisse der Messung sind in Fig. 5 gezeigt (es sollte beachtet werden, dass in Fig. 5 zwecks Klarheit ein Intervall von 0.05 der Skala in Richtung der y-Achse zwischen jedes Spektrum entsprechend jeder Wellenlänge eingesetzt ist). Wie aus Fig. 5 ersichtlich ist, ist die Intensität der DA-Paar-Lichtemission hoch, wenn die Wellenlänge des Laserlichts 5 im Bereich von 9 bis 11  $\mu\text{m}$  liegt, insbesondere im Bereich von 9.5 bis 10  $\mu\text{m}$ , und deshalb ist der Effekt der Aktivierung bei Al groß.

Im Fall von SiC betragen die Absorptionswellenlängen entsprechend den TO-Phononen bzw. den LO-Phononen der Gitterschwingung von Si-C 12.6  $\mu\text{m}$  bzw. 10.3  $\mu\text{m}$  und die Absorptionswellenlänge von Si-N beträgt 11.9  $\mu\text{m}$ . Wie in Fig. 4 gezeigt ist, wurde jedoch das Maximum der DA-Paar-Lichtemission in den Fällen von Laserlicht mit einer Wellenlänge von 9.8 bis 9.6  $\mu\text{m}$  erhalten. Deshalb wird vermutet, dass eine Absorption der Bindung von Si mit dem Störstellenelement Al oder C und dem Störstellenelement Al einen großen Einfluss auf die Aktivierung von Al hat.

Bei den Aktivierungsverfahren nach dem Stand der Technik ist ein Licht wie ein Excimerlaser, der eine kleinere Wellenlänge als eine Bandkantenabsorption in SiC verursachende Wellenlänge besitzt (im Fall von 6H-SiC, ungefähr 3 eV: bis zu 0.41  $\mu\text{m}$ ) angewandt worden, um dem Elektronensystem im ausgesetzten Halbleiter Energie zu liefern. Im Gegensatz dazu wendet das erfindungsgemäße Verfahren ein Licht an, das eine längere Wellenlänge als die Bandkantenabsorption verursachende Wellenlänge besitzt, insbesondere ein Licht, das solch eine Wellenlänge besitzt, dass eine Absorption einer Bindung eines Störstellenelements und eines den Halbleiter aufbauenden Elements verursacht wird. Durch Anwendung eines solchen Lichts wurde die Aktivierung durch direkte Anregung der Gitterschwingung zwischen einem Störstellenelement und einem einen Halbleiter aufbauenden Element möglich gemacht und deshalb werden derartige vorteilhafte Effekte erzielt, dass der Grad einer Aktivierung leicht mit hoher Effizienz verbessert werden kann und dass ein Lasersystem mit einer kleinen Ausgangsleistung angewandt werden kann.

Es wird angemerkt, dass die obigen Werte Beispiele in dem Fall sind, dass SiC und Al angewendet werden, und wenn andere Störstellenelemente angewandt werden, kann ein Licht verwendet werden, das eine auf der Theorie, wie sie oben beschrieben wurde, beruhenden Wellenlänge in Abhängigkeit von der Zusammensetzung besitzt.

Das oben beschriebene Beispiel kann weiter solche Schritte enthalten, wie einen Schritt des Einschließens von Inertgas wie Argon (Ar) und dergleichen in der Kammer 21 und danach Ausführen des Lasereinschneidens in einer solchen Atmosphäre, einen Schritt des Erwärmens des SiC-Substrats 1 auf eine Temperatur von ungefähr 1000 °C oder niedriger und einen Schritt der Kühlung des SiC-Substrats 1. Bevorzugt werden solche Schritte dem obigen Beispiel zugefügt, bei denen die Effekte der Erfindung weiter gesteigert werden und die Steuerbarkeit weiter gesteigert werden.

Das Material ist nicht auf einen Einkristall beschränkt und die gleichen Effekte können auch in dem Fall erreicht werden, wenn amorphe Halbleiternaterialien und dergleichen angewandt werden.

- 5 Obwohl im obigen Beispiel ein Freie-Elektronen-Laser verwendet wurde, um einen Vergleich der verschiedenen Wellenlängen zu machen, kann ein Lasersystem mit einer festen Wellenlänge insoweit verwendet werden, dass eine bestimmte Wellenlänge, wie es oben beschrieben wurde, erhalten wird. Insbesondere kann, da eine relativ lange Wellenlänge angewandt wird, die Produktivität durch Verwendung eines CO<sub>2</sub>-Lasers und dergleichen leicht gesteigert werden.

Nun wird ein Beispiel einer SiC-Diode, die das SiC verwendet, in dem Fremdatomionen auf die gleiche Art und Weise, wie im obigen Beispiel, implantiert und aktiviert wurden.

Fig. 6 zeigt ein schematisches Diagramm der Schritte der Herstellung einer SiC-Diode entsprechend einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Dotierung mit Fremdatomen.

- 20 (1) Wie in Fig. 6 (a) gezeigt ist, wird eine Isolationsschicht (Oxidschicht) 32 an der ganzen Oberfläche eines n-Typ-SiC-Substrats 31 durch thermische Oxidation, CVD, Sprühen und ein vergleichbares Verfahren gebildet, und danach wird ein Ausschnitt 32a durch Photolithographie und Ätzen gebildet. Als Isolationsschicht 32 kann eine Oxidschicht, eine Nitridschicht oder eine Kombinationsschicht aus einer Oxidschicht und einer Nitridschicht verwendet werden. Die Isolationsschicht 32 kann abhängig vom Aufbau des herzustellenden Bauteils weggelassen werden.
- 25 (2) Wie in Fig. 6 (b) gezeigt ist, werden unter Verwendung der Isolationsschicht 32 als Maske Al-Ionen 33 selektiv implantiert und dadurch eine Al-implantierte Schicht 34 gebildet.
- 30



(3) Wie in Fig. 6 (c) gezeigt ist, wird durch Bestrahlung mit einem Laserlicht 35, das eine Wellenlänge von  $9.8 \mu\text{m}$  besitzt, eine p-leitend dotierte Schicht 36, in der die Störstellen aktiviert sind, gebildet.

(4) Wie in Fig. 6 (d) gezeigt ist, wird ein Ausschnitt 32b an der Rückseite der Isolationsschicht 32 gebildet. Danach wird, wie in Fig. 6 (e) gezeigt ist, eine Nickelschicht (Ni) abgeschieden und eine n-leitende ohmsche Elektrode 37 durch Ätzen und Wärmebehandlung gebildet.

(5) Wie in Fig. 6. (f) gezeigt ist, wird eine Al-Schicht über die Oberfläche, auf der die p-leitende dotierte Schicht 36 gebildet ist, abgeschieden und danach eine ohmsche Elektrode 38 durch Ätzen und Wärmebehandlung gebildet.

Fig. 7 zeigt die Kennlinie einer Diode, die entsprechend den vorgenannten Schritten hergestellt wurde. Die gestrichelte Linie in der selben Figur zeigt die Kennlinie einer durch eine Störstellenaktivierung durch Wärmebehandlung bei  $1500^\circ\text{C}$  nach dem Stand der Technik hergestellten Diode, wie sie hier beim fachlichen Hintergrund beschrieben ist. Wie in der Fig. 7 gezeigt ist, ist verständlich, dass erfindungsgemäß eine vorteilhafte Diode, die eine ausgezeichnete Durchschlagspannungskennlinie und dergleichen Kennlinie aufweist, ohne eine solche Wärmebehandlung bei  $1000^\circ\text{C}$  oder höher erhalten wird.

Obwohl hier ein Beispiel zur Gestaltung einer Diode beschrieben wird, können verschiedene andere Bauteile, wie Transistoren und FETs (Feld-Effekt-Transistoren), durch das gleiche Dotierungs- bzw. Aktivierungsverfahren, wie es oben beschrieben wurde, hergestellt werden, z. B. durch geeignete Auswahl des Bauteilaufbauten und -masken.

Die vorliegende Erfindung kann entsprechend den soweit beschriebenen Beispielen verwirklicht werden und zeigt Vorteile, wie sie oben beschrieben wurden.



12.12.02

5

Um genauer zu sein, durch Gebrauch eines Lichts, das eine Wellenlänge besitzt, die länger ist als eine Wellenlänge, die eine Bandkantenabsorption im Halbleiter verursacht und, um noch genauer zu sein, eines Lichts, das ungefähr eine Wellenlänge besitzt, bei der eine Resonanzabsorption durch die charakteristische Schwingung der Bindung des Störstellenelements mit dem den Halbleiter aufbauenden Elements verursacht wird, wurde es möglich gemacht, eine Störstellenaktivierung mit hoher Effizienz und großer Zuverlässigkeit auszuführen, auch wenn ein Lasergerät mit einer relativ kleinen Ausgangsspannung angewandt wird. Insbesondere kann eine Aktivierung von p-Typ-Störstellen in SiC, die schwierig gewesen ist, mit einer ausgezeichnet hohen Effizienz ausgeführt werden.

Entsprechend ist die vorliegende Erfindung brauchbar, da sie auf solchen Gebieten, wie der Fabrikation von Halbleiterbauteilen und dergleichen, anwendbar ist.



10

12.12.02

698 13 787.6

16

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Aktivierung einer Halbleiterstörstelle durch Bestrahlung eines Halbleiters, der aus einem Haupthalbleiterelement und einem Störstellenelement besteht, mit Licht, um das Störstellenelement zu aktivieren, wobei:

das Haupthalbleiterelement Siliciumcarbid ist;

das Störstellenelement eines der Elemente Aluminium, Bor und Gallium ist;

das Licht eine Wellenlänge besitzt, die länger ist, als eine Wellenlänge, die Bandkantenabsorption des Halbleiters verursacht;

die Wellenlänge derart ist, dass Resonanzabsorption durch die charakteristische Schwingung einer Bindung eines den Halbleiter aufbauenden Elements mit dem Störstellenelement verursacht wird;

durch Gebrauch des Lichts das Störstellenelement durch selektives Schwingen einer Bindung des Störstellenelements mit dem das Haupthalbleiterelement aufbauenden Element im Halbleiter aktiviert wird.

2. Verfahren zur Aktivierung einer Halbleiterstörstelle nach Anspruch 1, bei dem das Licht angewandt wird, nachdem das Störstellenelement in das Haupthalbleiterelement implantiert wurde.

3. Verfahren zur Aktivierung einer Halbleiterstörstelle nach Anspruch 1, bei dem der Halbleiter durch Implantierung des Störstellenelements in einen dünnen Film, der aus dem Haupthalbleiterelement besteht, oder in ein Substrat, das aus dem Haupthalbleiterelement besteht, gebildet wird.

12.12.02

4. Verfahren zur Aktivierung einer Halbleiterstörstelle nach Anspruch 1, 2 oder 3, bei dem das Licht eine Wellenlänge von  $9.5\text{ }\mu\text{m}$  bis  $10\text{ }\mu\text{m}$  besitzt.

5

5. Verfahren zur Aktivierung einer Halbleiterstörstelle nach einem der voranstehenden Ansprüche, bei dem das Licht ein Laserlicht ist.

6. Verfahren zur Aktivierung einer Halbleiterstörstelle nach Anspruch 5, bei dem:

das Laserlicht auf einen Brennpunkt fokussiert wird, der an der Oberfläche des Halbleiters liegt; und

das Störstellenelement in einem vorbestimmten Bereich im Halbleiter durch Abtasten des Halbleiters mit dem Laserlicht aktiviert wird.

7. Verfahren zur Aktivierung einer Halbleiterstörstelle nach Anspruch 5, bei dem:

das Laserlicht auf einen Brennpunkt fokussiert wird, der an der Oberfläche des Halbleiters liegt; und

die Strahlungsintensität des Laserlichts durch Steuerung der Distanz zwischen dem Brennpunkt und der Oberfläche des Halbleiters gesteuert wird.

8. Verfahren zur Aktivierung einer Halbleiterstörstelle nach Anspruch 5, bei dem:

25

das Laserlicht auf einen Brennpunkt fokussiert wird, der an oder hinreichend nahe der Oberfläche des Halbleiters liegt, so dass ein künstliches Echo erzeugt wird; und

30

Bestrahlung mit dem Laserlicht ausgeführt wird, und zwar durch Detektieren eines künstlichen Echos, das in dem Fall verursacht wird, bei dem die Bestrahlungsintensität des Laserlichts gesteigert wird, und durch Regelung der



1325349601747696832

Bestrahlungsintensität auf solch eine Intensität, dass das künstliche Echo beginnt, detektiert zu werden.

9. Verfahren zur Aktivierung einer Halbleiterstörstelle nach Anspruch 5, bei dem:

das Laserlicht auf einen Brennpunkt fokussiert wird, der an der Oberfläche des Halbleiters liegt; und

Bestrahlung mit dem Laserlicht so gesteuert wird, dass der Brennpunkt des Laserlichts zwischen die Lichtquelle des Laserlichts und die Oberfläche des Halbleiters positioniert wird, wobei die Position einen vorbestimmten Abstand von der Oberfläche des Halbleiters besitzt.

10. Verfahren zur Aktivierung einer Halbleiterstörstelle nach Anspruch 5, bei dem:

das Laserlicht auf einen Brennpunkt fokussiert wird, der an oder hinreichend nahe der Oberfläche des Halbleiters liegt, so dass ein künstliches Echo erzeugt wird; und

Bestrahlung mit dem Laserlicht ausgeführt wird, und zwar durch Detektieren eines künstlichen Echos, das in dem Fall verursacht wird, bei dem die Bestrahlungsintensität des Laserlichts gesteigert wird, und durch Steuern des Laserlichts derart, dass es an solch eine Position fokussiert wird, dass das künstliche Echo beginnt, detektiert zu werden.

11. Verfahren zur Aktivierung einer Halbleiterstörstelle nach einem der voranstehenden Ansprüche, bei dem nur ein vorbestimmter Bereich im Halbleiter selektiv mit dem Licht durch Verwendung eines Elements zur Maskierung bestrahlt wird.

10.12.02

19

12. Verfahren zur Aktivierung einer Halbleiterstörstelle nach einem der voranstehenden Ansprüche, bei dem das Licht eine Wellenlänge von  $9,6\text{ }\mu\text{m}$  bis  $9,8\text{ }\mu\text{m}$  besitzt.

5

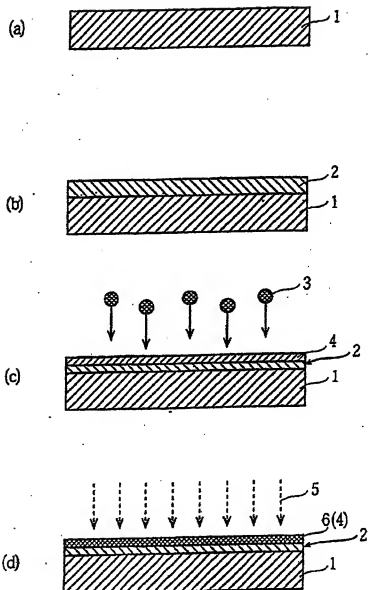


13254960174768932

12.12.02

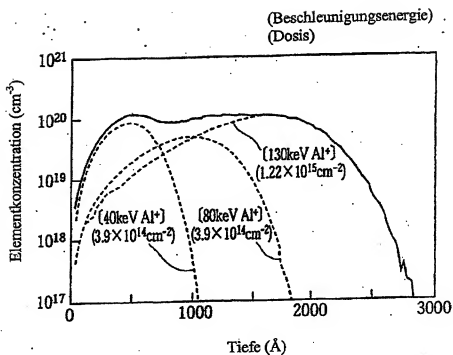
69P13 787.6

FIG. 1



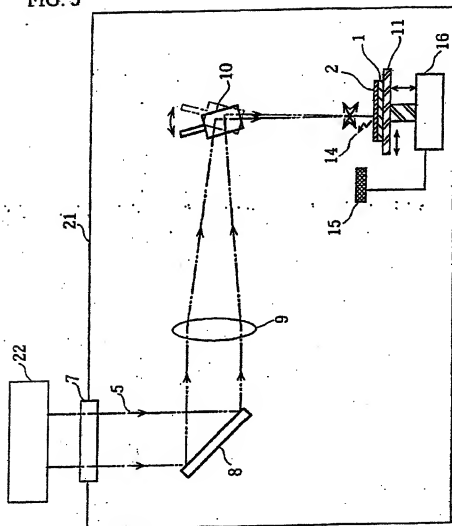
12.12.02

FIG. 2



12.12.02

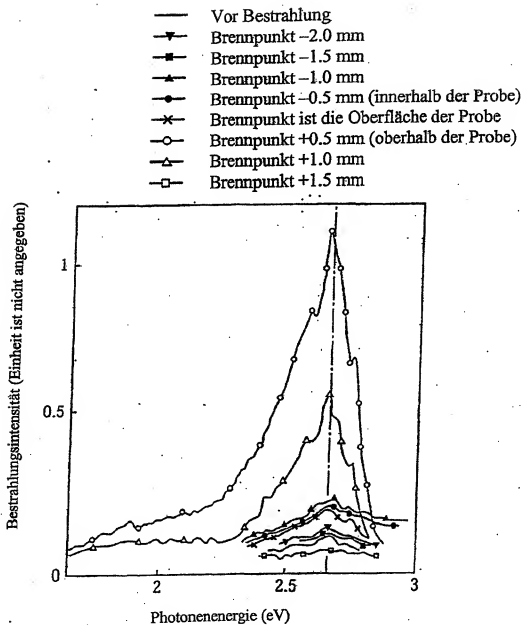
FIG. 3





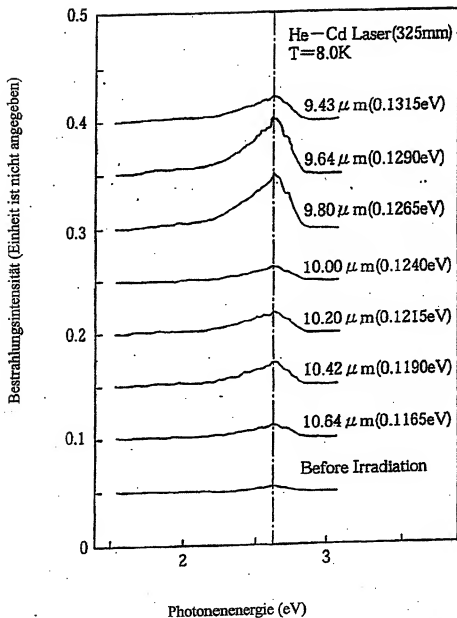
12.12.02

FIG. 4



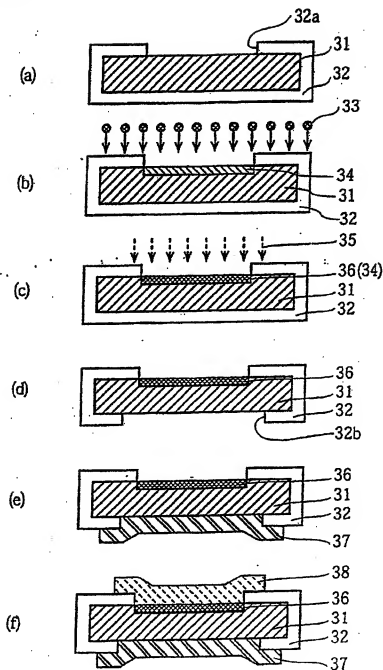
12.12.02

FIG. 5



12.12.02

FIG. 6



12.12.02

FIG. 7

